

# IGBT是什么？国内外差距有多大？

在电力电子里面，最重要的一个元件就是 IGBT。没有 IGBT 就不会有高铁的便捷生活。

一说起 IGBT，半导体制造的人都以为不就是一个分立器件 (Power Discret) 嘛，都很瞧不上眼。然而他和 28nm / 16nm 集成电路制造一样，是国家“02 专项”的重点扶持项目，这玩意是现在目前功率电子器件里技术最先进的产品，已经全面取代了传统的 Power MOSFET，其应用非常广泛，小到家电、大到飞机、舰船、交通、电网等战略性产业，被称为电力电子行业里的“CPU”，长期以来，该产品（包括芯片）还是被垄断在少数 IDM 手上 (FairChild、Infineon、TOSHIBA)，位居“十二五”期间国家 16 个重大技术突破专项中的第二位（简称“02 专项”）。

## 1 何为 IGBT？

所谓 IGBT（绝缘栅双极型晶体管），是由 BJT（双极结型晶体三极管）和 MOS（绝缘栅型场效应管）组成的复合全控型 - 电压驱动式 - 功率半导体器件，其具有自关断的特征。



简单讲，是一个非通即断的开关，IGBT 没有放大电压的功能，导通时可以看做导线，断开时当做开路。IGBT 融合了 BJT 和 MOSFET 的两种器件的优点，如驱动功率小和饱和压降低等。

而平时我们在实际中使用的 IGBT 模块是由 IGBT 与 FWD（续流二极管芯片）通过特定的电路桥接封装而成的模块化半导体产品，具有节能、安装维修方便、散热稳定等特点。

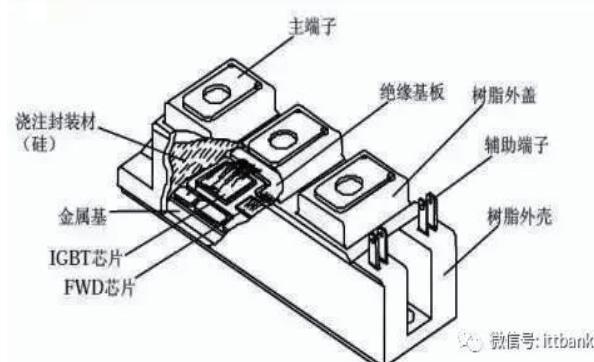
## ● 三种器件性能比较

特性	BJT	MOSFET	IGBT
驱动方式	电流	电压	电压
驱动电路	复杂	简单	简单
输入阻抗	低	高	高
驱动功率	高	低	低
开关速度	慢	快	居中
工作频率	低	高	居中
饱和压降	低	高	低

资料来源：公开资料整理、中国中投证券研究总部

微信号: ittbank

## ● IGBT模块结构简图

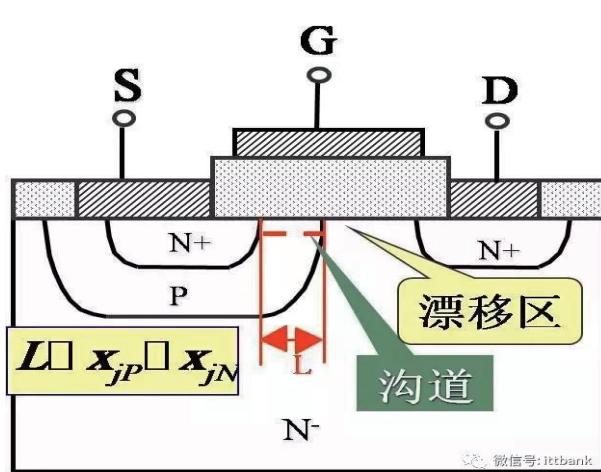


微信号: ittbank

## 2 传统的功率 MOSFET

为了等一下便于理解 IGBT，我还是先讲下 Power MOSFET 的结构。所谓功率 MOS 就是要承受大功率，换言之也就是高电压、大电流。我们结合一般的低压 MOSFET 来讲解如何改变结构实现高压、大电流。

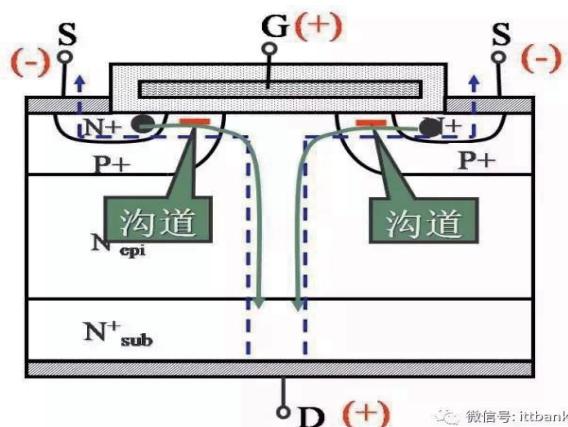
1) 高电压：一般的 MOSFET 如果 Drain 的高电压，很容易导致器件击穿，而一般击穿通道就是器件的另外三端 (S/G/B)，所以要解决高压问题必须堵死这三端。Gate 端只能靠场氧垫在 Gate 下面隔离与漏的距离 (Field-Plate)，而 Bulk 端的 PN 结击穿只能靠降低 PN 结两边的浓度，而最讨厌的是到 Source 端，它则需要一个长长的漂移区来作为漏极串联电阻分压，使得电压都降在漂移区上就可以了。



2) 大电流：一般的 MOSFET 的沟道长度有 Poly CD 决定，而功率 MOSFET 的沟道是靠两次扩散的结深差来控制，所以只要 process 稳定就可以做的很小，而且不受光刻精度的限制。而器件的电流取决于 W/L，所以如果要获得大电流，只需要提高 W 就可以了。

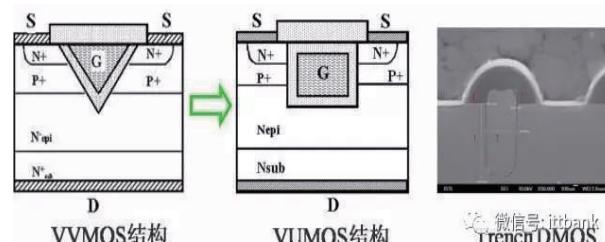
所以上面的 Power MOSFET 也叫作 LDMOS (Lateral Double diffusion MOS)。虽然这样的器件能够实现大功率要求，可是它依然有它固有的缺点，由于它的源、栅、漏三端都在表面，所以漏极与源极需要拉的很长，太浪费芯片面积。而且由于器件在表面则器件与器件之间如果要并联则复杂性增加而且需要隔离。所以来发展了 VDMOS(Vertical DMOS)，把漏极统一放到 Wafer 背面去了，这样漏极和源极的漂移区长度完全可以通过背面减薄来控制，而且这样的结构更利于管子之间的并联结构实现大功率化。但是在 BCD 的工艺中还是利用 LDMOS 结构，为了与 CMOS 兼容。

再给大家讲一下 VDMOS 的发展及演变吧，最早的 VDMOS 就是直接把 LDMOS 的 Drain 放到了背面通过背面减薄、Implant、金属蒸发制作出来的（如下图），他



就是传说中的 Planar VDMOS，它和传统的 LDMOS 比挑战在于背面工艺。但是它的好处是正面的工艺与传统 CMOS 工艺兼容，所以它还是有生命力的。但是这种结构的缺点在于它沟道是横在表面的，面积利用率还是不够高。

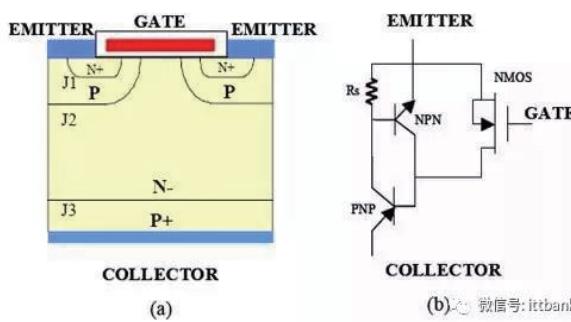
再后来为了克服 Planar DMOS 带来的缺点，所以发展了 VMOS 和 UMOS 结构。他们的做法是在 Wafer 表面挖一个槽，把管子的沟道从原来的 Planar 变成了沿着槽壁的 vertical，果然是个聪明的想法。但是一个馅饼总是会搭配一个陷阱 (IC 制造总是在不断 trade-off)，这样的结构天生的缺点是槽太深容易电场集中而导致击穿，而且工艺难度和成本都很高，且槽的底部必须绝对 rounding，否则很容易击穿或者产生应力的晶格缺陷。但是它的优点是晶胞数量比原来多很多，所以可以实现更多的晶体管并联，比较适合低电压大电流的应用。



还有一个经典的东西叫做 CoolMOS，大家自己 google 学习吧。他应该算是 Power MOS 撑电压最高的了，可以到 1000V。

### 3 IGBT 的结构和原理

上面介绍了 Power MOSFET，而 IGBT 其实本质上还是一个场效应晶体管，从结构上看和 Power MOSFET 非常接近，就在背面的漏电极增加了一个 P+ 层，我们称之为 Injection Layer (名字的由来等下说)。在上面介绍的 Power MOSFET 其实根本上来说它还是传统的 MOSFET，它依然是单一载流子 (多子) 导电，所以我们还没有发挥出它的极致性能。所以来发展出一个新的结构，我们如何能够在 Power MOSFET 导通的时候除了 MOSFET 自己的电子我还能从漏端注入空穴不就可以了？所以自然的就在漏端引入了一个 P+ 的 injection layer (这就是名字的由来)，而从结构上漏端就多了一个 P+/N-drift 的 PN 结，不过他是正偏的，所以它不影响导通反而增加了空穴注入效应，所以它的特性就类似 BJT 了有两种载流子参与导电。所以原来的 source 就变成了 Emitter，而 Drain 就变成了 Collector 了。



从上面结构以及右边的等效电路图看出，它有两个等效的 BJT 背靠背链接起来的，它其实就是一个 PNPN 的 Thyristor (晶闸管)，这个东西不是我们刻意做的，而是结构生成的。我在 5 个月前有篇文章讲 Latch-up(<http://ic-garden.cn/?p=511>) 就说了，这样的结构最要命的东西就是栓锁 (Latch-up)。而控制 Latch-up 的关键就在于控制  $R_s$ ，只要满足  $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$  就可以了。

另外，这样的结构好处是提高了电流驱动能力，但坏处是当器件关断时，沟道很快关断没有了多子电流，可是 Collector (Drain) 端这边还继续有少子空穴注入，所以整个器件的电流需要慢慢才能关闭 (拖尾电流，tailing current)，影响了器件的关断时间及工作频率。这个可是开关器件的大忌啊，所以又引入了一个结构在 P+ 与 N-drift 之间加入 N+buffer 层，这一层的作用就是让器件在关断的时候，从 Collector 端注入的空穴迅速在 N+ buffer 层就被复合掉提高关断频率，我们称这种结构为 PT-IGBT (Punch Through 型)，而原来没有带 N+buffer 的则为 NPT-IGBT。

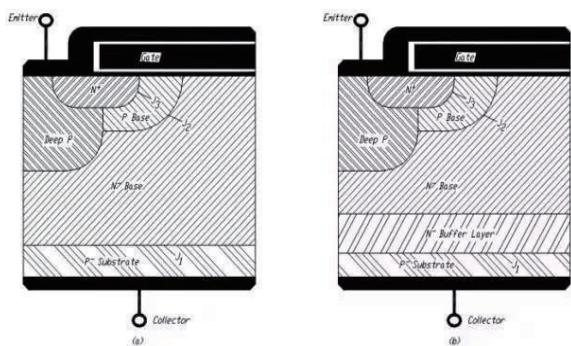


Figure 4: Structure (a) NPT-IGBT and (b) PT-IGBT [2] 微信号: ittbank

一般情况下，NPT-IGBT 比 PT-IGBT 的  $V_{ce(sat)}$  高，主要因为 NPT 是正温度系数 (P+ 衬底较薄空穴注入较少)，而 PT 是负温度系数 (由于 P 衬底较厚所以空穴注入较多而导致的三极管基区调制效应明显)，而  $V_{ce(sat)}$  决定了开关损耗 (switch loss)，所以如果需要同样的  $V_{ce(sat)}$ ，则 NPT 必须要增加 drift 厚度，所以  $R_{on}$  就增大了。

Table 1: Characteristics Comparison of NPT and PT IGBTs:

	NPT	PT
Switching Loss	Medium Long, low amplitude tail current. Moderate increase in $E_{off}$ with temperature	Low Short tail current Significant increase in $E_{off}$ with temperature
Conduction Loss	Medium Increases with temperature	Low Flat to slight decrease with temperature
Paralleling	Easy Optional sorting Recommend share heat	Difficult <small>Microphone Ittbank</small>

#### 4 IGBT 的制造工艺

IGBT 的制程正面和标准 BCD 的 LDMOS 没差，只是背面比较难搞：

- 1) 背面减薄：一般要求 6~8mil，这个厚度很难磨了，容易碎片。
- 2) 背面注入：都磨到 6~8mil 了，还要打 High current P+ implant  $> E_{14}$  的 dose，很容易碎片的，必须有专门的设备 dedicate。甚至第四代有两次 Hi-current 注入，更是挑战极限了。
- 3) 背面清洗：这个一般的 SEZ 就可以。
- 4) 背面金属化：这个只能用金属蒸发工艺，Ti/Ni/Ag 标准工艺。
- 5) 背面 Alloy：主要考虑 wafer 太薄了，容易翘曲碎片。

#### 5 IGBT 的新技术

1) 场截止 FS-IGBT：不管 PT 还是 NPT 结构都不能最终满足无限 high power 的要求，要做到 high power，就必须要降低  $V_{ce(sat)}$ ，也就是降低  $R_{on}$ 。所以必须要降低 N-drift 厚度，可是这个 N-drift 厚度又受到截止状态的电场约束 (太薄了容易 channel 穿通)。所以如果要向降低 drift 厚度，必须要让截止电场到沟道前降下来。所以需要在 P+ injection layer 与 N-drift 之间引入

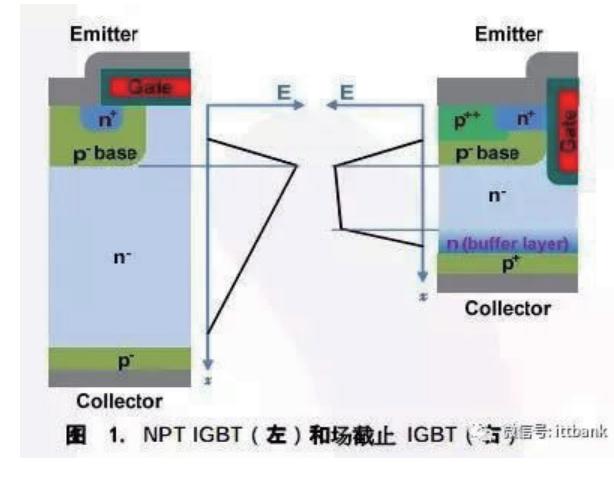
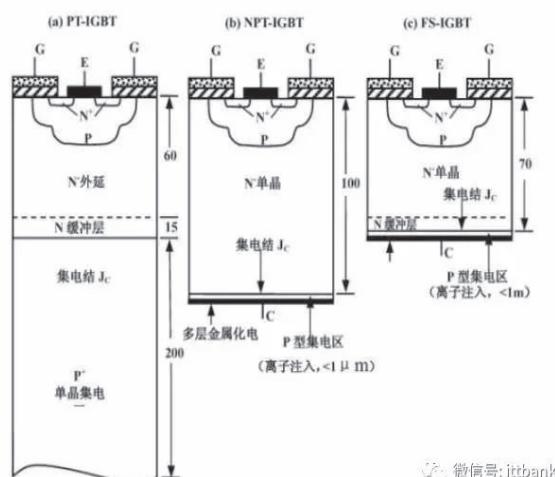


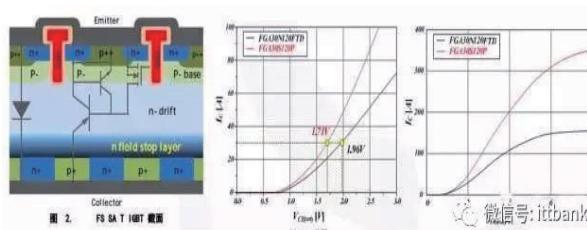
图 1. NPT IGBT (左) 和场截止 IGBT (右) 微信号: ittbank

一个 N+ 场截止层 (Field Stop, FS)，当 IGBT 处于关闭状态，电场在截止层内迅速降低到 0，达到终止的目的，所以我们可以进一步降低 N-drift 厚度达到降低  $R_{on}$  和  $V_{ce}$  了。而且这个结构和 N+ buffer 结构非常类似，所以它也有 PT-IGBT 的效果抑制关闭状态下的 tailing 电流提高关闭速度。

问题来了，这和 PT-IGBT 的 N+ buffer 差在哪里？其实之制作工艺不一样。PT-IGBT 是用两层 EPI 做出来的，它是在 P+ 衬底上长第一层 ~10um 的 N+ buffer，然后再长第二层 ~100um 的 N-Drift。这个 cost 很高啊！而相比之下的 FS-IGBT 呢，是在 NPT-IGBT 的基础上直接背面打入高浓度的 N+ 截止层就好了，成本比较低，但是挑战是更薄的厚度下如何实现不碎片。



2) 阳极短接 (SA: Shorted-Anode)：它的结构是 N+ 集电极间歇插入 P+ 集电极，这样 N+ 集电极直接接触场截止层并用作 PN 二极管的阴极，而 P+ 还继续做它的 FS-IGBT 的集电极，它具有增强的电流特性且改变了成本结构，因为不需要共封装反并联二极管了。实验证明，它可以提高饱和电流，降低饱和压降 (~12%)。



## 6 IGBT 的主要 I-V 特性

IGBT 你既可以把它当做一个 MOSFET 与 PiN 二极管串联，也可以当做是一个宽基区的 PNP 被 MOSFET

驱动 (Darlington 结构)，前者可以用来理解它的特性，后者才是他的原理。它看起来就是一个 MOSFET 的 I-V 曲线往后挪了一段 (>0.7V)，因为沟道开启产生电流必须满足漂移区电流与漂移区电阻乘积超过 0.7V，才能使得 P+ 衬底与 N-drift 的 PN 结正向导通，这样才可以 work，否则沟道开启也不能 work 的。

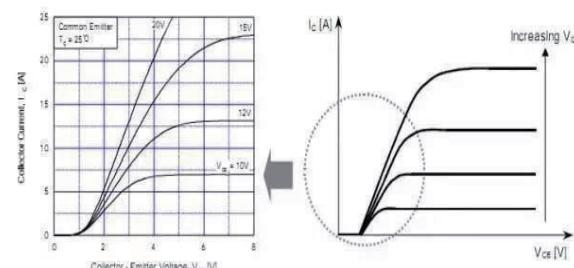


Figure 2. Static Characteristics of the IGBT

## 7 为什么要重视 IGBT ?

IGBT 是能源转换与传输的核心器件，是电力电子装置的“CPU”。采用 IGBT 进行功率变换，能够提高用电效率和质量，具有高效节能和绿色环保的特点，是解决能源短缺问题和降低碳排放的关键支撑技术。



IGBT 的应用领域

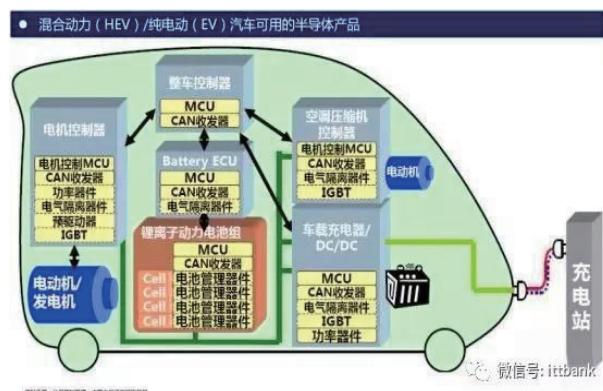


按电压分布的应用领域

### 1) 新能源汽车

IGBT 模块在电动汽车中发挥着至关重要的作用，是电动汽车及充电桩等设备的核心技术部件。IGBT 模块占电动汽车成本将近 10%，占充电桩成本约 20%。IGBT 主要应用于电动汽车领域中以下几个方面：

- A) 电动控制系统 大功率直流 / 交流 (DC/AC) 逆变后驱动汽车电机；
- B) 车载空调控制系统 小功率直流 / 交流 (DC/AC) 逆变，使用电流较小的 IGBT 和 FRD；
- C) 充电桩 智能充电桩中 IGBT 模块被作为开关元件使用；



### 2) 智能电网

IGBT 广泛应用于智能电网的发电端、输电端、变电端及用电端：

从发电端来看，风力发电、光伏发电中的整流器和逆变器都需要使用 IGBT 模块。

从输电端来看，特高压直流输电中 FACTS 柔性输电技术需要大量使用 IGBT 等功率器件。

从变电端来看，IGBT 是电力电子变压器 (PET) 的关键器件。

从用电端来看，家用白电、微波炉、LED 照明驱动等都对 IGBT 有大量的需求。



### 3) 轨道交通

IGBT 器件已成为轨道交通车辆牵引变流器和各种辅

助变流器的主流电力电子器件。交流传动技术是现代轨道交通的核心技术之一，在交流传动系统中牵引变流器是关键部件，而 IGBT 又是牵引变流器最核心的器件之一。

### ● 动车牵引系统



### 8 IGBT 各代之间的技术差异

要了解这个，我们先看一下 IGBT 的发展历程。

工程师在实际应用中发现，需要一种新功率器件能同时满足：驱动电路简单，以降低成本与开关功耗；通态压降较低，以减小器件自身的功耗。

回顾他们在 1950-60 年代发明的双极型器件 SCR, GTR 和 GTO 通态电阻很小；电流控制，控制电路复杂且功耗大；1970 年代推出的单极型器件 VDMOSFET 通态电阻很大；电压控制，控制电路简单且功耗小；因此到了 1980 年代，他们试图把 MOS 与 BJT 技术集成起来的研究，导致了 IGBT 的发明。1985 年前后美国 GE 成功试制工业样品(可惜后来放弃)。自此以后，IGBT 主要经历了 6 代技术及工艺改进。

### ● 各代IGBT主要参数对比

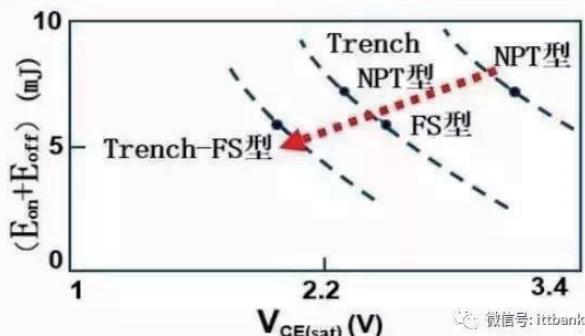
代别	技术特点	芯片面积	饱和压降	$T_R/\mu s$	功率损耗	出现时间
第1代	平面穿透型 (PPT)	100	3	0.5	100	1988
第2代	改进的平面穿透型 (PPT)	56	2.8	0.3	74	1990
第3代	沟槽型 (trench)	40	2	0.25	51	1992
第4代	透明集电区非穿透型 (NPT)	31	1.5	0.25	39	1997
第5代	电场截止型 (FS)	27	1.3	0.19	33	2001
第6代	沟槽型电场截止型 (FS-Trench)	24	1	0.15	29	2003

资料来源：SIRI 产业研究、中国中投证券研究总部

微信号: ittbank

而经过多年的发展，我们清楚明白到，从结构上看，IGBT 主要有三个发展方向，分别是 IGBT 纵向结构、IGBT 栅极结构和 IGBT 硅片加工工艺。而在这三个方面的改良过程中，厂商聚焦在降低损耗和降低生产成本两个方面。

## ● IGBT技术发展线



在一代代工程师的努力下，IGBT 芯片在六代的演变过程中，经历了以下变化：

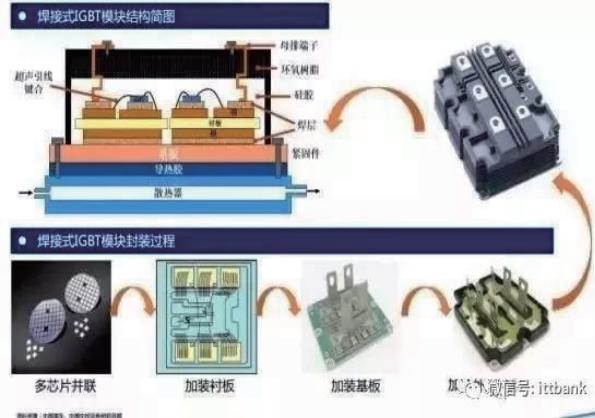
● IGBT芯片各代特点及结构简图				
代别	第2代PT型	第4代NPT型	第5代FS型	第6代Trench-FS型
技术效果	相比GTR和MOSFET实现了低通态压降同时低开关损耗	减小开关损耗利于高频工作降低成本	即减小开关损耗也减小通态损耗	减小通态损耗利于大电流
结构特点	外延晶片	不用寿命控制技术；不用外延片；	NPT工艺+FS	NPT工艺 + FS + Trench
性能特点	通态压降不均；不适于并联使用；功耗有待降低；	制造成本低；Eoff比PT型小；VCE(sat)比PT型大；坚固不易损坏；	N-耐压层比NPT型更薄；VCE(sat)低于NPT型；Eoff比PT型和NPT型都低；VCE(sat)正温度系数；	VCE(sat)比FS型低；VCE(sat)和Eoff低于NPT型；
结构简图				

而前面我们已经提到，开发者一般在实际设计中都是使用 IGBT 模块应用到实际产品中，所以我们简略对这个介绍一下。

IGBT 模块按封装工艺来看主要可分为焊接式与压接式两类。高压 IGBT 模块一般以标准焊接式封装为主，中低压 IGBT 模块则出现了很多新技术，如烧结取代焊接，压力接触取代引线键合的压接式封装工艺。

随着 IGBT 芯片技术的不断发展，芯片的最高工作结温与功率密度不断提高，IGBT 模块技术也要与之相适应。未来 IGBT 模块技术将围绕芯片背面焊接固定与正面电极互连 两方面改进。模块技术发展趋势：无焊接、无引线键合及无衬板 / 基板封装技术；内部集成温度传感器、电流

传感器及驱动电路等功能元件，不断提高 IGBT 模块的功率密度、集成度及智能度。



## 9 国内 IGBT 与国外的差距

先说一下 IGBT 的全球发展状态，从市场竞争格局来看，美国功率器件处于世界领先地位，拥有一批具有全球影响力厂商，例如 TI、Fairchild、NS、Linear、IR、Maxim、ADI、ON Semiconductor、AOS 和 Vishay 等厂商。欧洲拥有 Infineon、ST 和 NXP 三家全球半导体大厂，产品线齐全，无论是功率 IC 还是功率分离器件都具有领先实力。

日本功率器件厂商主要有 Toshiba、Renesas、NEC、Ricoh、Sanke、Seiko、Sanyo、Sharp、Fujitsu、Toshiba、Rohm、Matsushita、Fuji Electric 等等。日本厂商在分立功率器件方面做的较好，但在功率芯片方面，虽然厂商数量众多，但很多厂商的核心业务并非功率芯片，

从整体市场份额来看，日本厂商落后于美国厂商。近年来，中国台湾的功率芯片市场发展较快，拥有立锜、富鼎先进、茂达、安茂、致新和沛亨等一批厂商。台湾厂商主要偏重于 DC/DC 领域，主要产品包括线性稳压器、PWMIC(Pulse Width Modulation IC, 脉宽调制集成电路)和功率 MOSFET，从事前两种 IC 产品开发的公司居多。

总体来看，台湾功率厂商的发展较快，技术方面和国际领先厂商的差距进一步缩小，产品主要应用于计算机主板、显卡、数码产品和 LCD 等设备。

而中国大陆功率半导体市场占世界市场的 50% 以上，但在中高端 MOSFET 及 IGBT 主流器件市场上，90% 主要依赖进口，基本被国外欧美、日本企业垄断。

2015 年国际 IGBT 市场规模约为 48 亿美元，预计

到 2020 年市场规模可以达到 80 亿美元，年复合增长率约 10%。



2014 年国内 IGBT 销售额是 88.7 亿元，约占全球市场的 1 / 3。预计 2020 年中国 IGBT 市场规模将超 200 亿元，年复合增长率约为 15%。



现在，国外企业如英飞凌、ABB、三菱等厂商研发的 IGBT 器件产品规格涵盖电压 600V-6500V，电流 2A-3600A，已形成完善的 IGBT 产品系列，按照细分的不同，各大公司有以下特点：

- (1) 英飞凌、三菱、ABB 在 1700V 以上电压等级的工业 IGBT 领域占绝对优势；在 3300V 以上电压等级的高压 IGBT 技术领域几乎处于垄断地位。在大功率沟槽技术方面，英飞凌与三菱公司处于国际领先水平；
- (2) 西门康、仙童等在 1700V 及以下电压等级的消费 IGBT 领域处于优势地位。

国际市场供应链已基本成熟，但随着新能源等市场需求增长，市场链条正逐步演化。



而在国内，尽管我国拥有最大的功率半导体市场，但是目前国内功率半导体产品的研发与国际大公司相比还存在很大差距，特别是 IGBT 等高端器件差距更加明显。核心技术均掌握在发达国家手中，IGBT 技术集成度高

的特点又导致了较高的市场集中度。跟国内厂商相比，英飞凌、三菱和富士电机等国际厂商占有绝对的市场优势。形成这种局面的原因主要是：

- (1) 国际厂商起步早，研发投入大，形成了较高的专利壁垒。
- (2) 国外高端制造业水平比国内要高很多，一定程度上支撑了国际厂商的技术优势。

所以中国功率半导体产业的发展必须改变目前技术处于劣势的局面，特别是要在产业链上游层面取得突破，改变目前功率器件领域封装强于芯片的现状。

而技术差距从以下两个方面也有体现：

- (1) 高铁、智能电网、新能源与高压变频器等领域所采用的 IGBT 模块规格在 6500V 以上，技术壁垒较强；
- (2) IGBT 芯片设计制造、模块封装、失效分析、测试等 IGBT 产业核心技术仍掌握在发达国家企业手中。

## 10 国内现在主要从事 IGBT 的公司

● 国内IGBT主要厂商			
设计	制造	模组	IDM
中科君芯	中芯国际	中车西安永电	中车株洲时代
西安芯派	华润上华	西安爱柏克	深圳比亚迪
无锡同方微	深圳方正微	江苏宏微	吉林华微
宁波达新	上海先进	南京银茂	杭州士兰微
山东科达	华虹宏力	深圳比亚迪	中环股份
		嘉兴斯达	中航微电子

资料来源：SITRA产业研究、中国中投证券研究报告

微信号:ittbank

而从地域上看，国内的 IGBT 从业厂商则如下图所示：



近几年中国 IGBT 产业在国家政策推动及市场牵引下

得到迅速发展，已形成了 IDM 模式和代工模式的 IGBT 完整产业链，IGBT 国产化的进程加快，有望摆脱进口依赖。

## 11 我国发展 IGBT 面对的具体问题

虽然用量和可控要求我们发展 IGBT，我们也做了很多努力，但当中还是有些问题需要重点考虑的：

### (1) IGBT 技术与工艺

我国的功率半导体技术包括芯片设计、制造和模块封装技术目前都还处于起步阶段。功率半导体芯片技术研究一般采取“设计 + 代工”模式，即由设计公司提出芯片设计方案，由国内的一些集成电路公司代工生产。

由于这些集成电路公司大多没有独立的功率器件生产线，只能利用现有的集成电路生产工艺完成芯片加工，所以设计生产的基本是一些低压芯片。与普通 IC 芯片相比，大功率器件有许多特有的技术难题，如芯片的减薄工艺，背面工艺等。解决这些难题不仅需要成熟的工艺技术，更需要先进的工艺设备，这些都是我国功率半导体产业发展过程中急需解决的问题。

从 80 年代初到现在 IGBT 芯片体内结构设计有非穿通型 (NPT)、穿通型 (PT) 和弱穿通型 (LPT) 等类型，在改善 IGBT 的开关性能和通态压降等性能上做了大量工作。但是把上述设计在工艺上实现却有相当大的难度。尤其是薄片工艺和背面工艺。工艺上正面的绝缘钝化，背面的减薄国内做的都不是很好。

薄片工艺，特定耐压指标的 IGBT 器件，芯片厚度也是特定的，需要减薄到 200-100um，甚至到 80um，现在国内可以将晶圆减薄到 175um，再低就没有能力了。比如在 100~200um 的量级，当硅片磨薄到如此地步后，后续的加工处理就比较困难了，特别是对于 8 寸以上的大硅片，极易破碎，难度更大。

背面工艺，包括了背面离子注入，退火激活，背面金属化等工艺步骤，由于正面金属的熔点的限制，这些背面工艺必须在低温下进行（不超过 450° C），退火激活这一步难度极大。背面注入以及退火，此工艺并不像想象的那么简单。国外某些公司可代加工，但是他们一旦与客户签订协议，就不再给中国客户代提供加工服务。

在模块封装技术方面，国内基本掌握了传统的焊接式封装技术，其中中低压模块封装厂家较多，高压模块封装主要集中在南车与北车两家公司。与国外公司相比，技术

上的差距依然存在。国外公司基于传统封装技术相继研发出多种先进封装技术，能够大幅提高模块的功率密度、散热性能与长期可靠性，并初步实现了商业应用。

高端工艺开发人员非常缺乏，现有研发人员的设计水平有待提高。目前国内没有系统掌握 IGBT 制造工艺的人才。从国外先进功率器件公司引进是捷径。但单单引进一个人很难掌握 IGBT 制造的全流程，而要引进一个团队难度太大。国外 IGBT 制造中许多技术是有专利保护。目前如果要从国外购买 IGBT 设计和制造技术，还牵涉到好多专利方面的东西。

### (2) IGBT 工艺生产设备

国内 IGBT 工艺设备购买、配套十分困难。每道制作工艺都有专用设备配套。其中有的国内没有，或技术水平达不到。如：德国的真空焊接机，能把芯片焊接空洞率控制在低于 1%，而国产设备空洞率高达 20% 到 50%。外国设备未必会卖给中国，例如薄片加工设备。

又如：日本产的表面喷砂设备，日本政府不准出口。好的进口设备价格十分昂贵，便宜设备又不适用。例如：自动化测试设备是必不可少的，但价贵。如用手工测试代替，就会增加人为因素，测试数据误差大。IGBT 生产过程对环境要求十分苛刻。要求高标准的空气净化系统，世界一流的高纯水处理系统。

要成功设计、制造 IGBT 必须有集产品设计、芯片制造、封装测试、可靠性试验、系统应用等成套技术的研究、开发及产品制造于一体的自动化、专业化和规模化程度领先的大功率 IGBT 产业化基地。投资额往往需高达数十亿元人民币。

而为了推动国内功率半导体的发展，针对我国当前功率半导体产业发展状况以及 2016-2020 年电力电子产业发展重点，中国宽禁带功率半导体及应用产业联盟、中国 IGBT 技术创新与产业联盟、中国电器工业协会电力电子分会、北京电力电子学会共同发布《电力电子器件产业发展蓝皮书》（以下简称《蓝皮书》）。

《蓝皮书》指出，电力电子器件产业的核心是电力电子芯片和封装的生产，但也离不开半导体和电子材料、关键零部件、制造设备、检测设备等产业的支撑，其发展既需要上游基础的材料产业的支持，又需要下游装置产业的拉动。大家对中国 IGBT 的未来发展有什么期望？